



**Ministerio de Desarrollo Social y
Medio Ambiente
Secretaría de Desarrollo Sustentable y
Política Ambiental**



**EL CAMBIO
CLIMÁTICO Y LA
POLUCIÓN URBANA**



*Ministerio de Desarrollo Social
y Medio Ambiente
Secretaría de Desarrollo Sustentable
y Política Ambiental*

**San Martín 451 of. 441
(C1004AAI), Buenos Aires
Argentina**

PRESENTACIÓN

El objeto de este documento es sintetizar los resultados de un estudio destinado a cuantificar los contaminantes atmosféricos producidos por el parque automotor y las centrales termoeléctricas en el Área Metropolitana de Buenos Aires, a lo largo de un período que abarca desde el año 2000 al 2012. Las proyecciones se realizaron considerando dos escenarios alternativos de evolución: el escenario de base, en el cual se asume una evolución del tipo “business-as-usual” y el escenario de mitigación, en el cual se incluye la implementación de medidas específicas de mitigación.

El propósito general es poner a disposición de los decisores públicos –en los distintos niveles de gobierno y en las distintas áreas de la administración– y de la sociedad civil –de los diversos sectores de la producción, del pensamiento y de las organizaciones no gubernamentales– información relevante para la toma de decisiones y para la consideración de las diversas dimensiones de la problemática del cambio climático y la calidad del aire.

Esta presentación expone con mayor detalle los resultados obtenidos para el transporte automotor en los escenarios de base y de mitigación a lo largo de todo el período del análisis. Finalmente, a modo de ejemplificación de la aplicación del modelo de dispersión de contaminantes desarrollado, se incluyen también las emisiones de las centrales termoeléctricas para el año base del estudio. El examen detallado del sector eléctrico será presentado en otro documento de esta serie.

Para la realización del trabajo se utilizaron las primeras mediciones de laboratorio de actores de emisión en ciclo dinámico de la Argentina y se desarrollaron modelos específicos de evolución del parque automotor, de emisiones vehiculares y factores correctivos, de tránsito vehicular y de dispersión de contaminantes locales.

Los resultados obtenidos permiten estimar las emisiones anuales medias de contaminantes atmosféricos y su evolución futura en el área de estudio bajo distintos escenarios. Además, proveen información para la aplicación del modelo tridimensional de dispersión de contaminantes atmosféricos, con el fin de cuantificar la concentración de contaminantes que alteran la calidad del aire y afectan, principalmente, a la salud humana.

Este trabajo contribuye a integrar un programa de tareas destinado a fortalecer las capacidades propias de la Unidad de Cambio Climático de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental en la coordinación y revisión de inventarios de gases de efecto invernadero y contaminantes locales, y constituye un disparador para la puesta en marcha del Programa Nacional de Componentes Urbano Ambientales del Cambio Climático.

Como parte de esas actividades y, en el marco de un proyecto de cooperación con el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos, se ha llevado a cabo una estimación de las emisiones con el objeto último de ponderar los beneficios indirectos de la implementación de medidas de mitigación de gases de efecto invernadero, para el que este estudio aporta información clave, pero al que excede en sus alcances.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA POLUCIÓN URBANA
Opciones de mitigación de gases de efecto invernadero
e inventario de emisiones y concentraciones de contaminantes locales
del sector transporte automotor en el Área Metropolitana de Buenos Aires¹

Fabián H. Gaioli

Unidad de Cambio Climático de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política
Ambiental y Departamento de Física de la Universidad Nacional del Sur
fgaioli@medioambiente.gov.ar

Pablo A. Tarela

ptarela@fi.uba.ar

Resumen

El transporte automotor en el Área Metropolitana de Buenos Aires representa el sector con mayor incidencia en la contaminación local (alrededor del 90% de las emisiones de contaminantes locales), siendo, además, un sector muy importante en cuanto a sus emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono. En este trabajo se han cuantificado esas emisiones y estudiado alternativas de mitigación que permiten comparar a mediano plazo los beneficios locales de la reducción de emisiones con respecto a un escenario cuya evolución contiene la continuidad de la tendencia esperada sin que se incluyan medidas especiales (evolución “business-as-usual” que define el escenario base). Se ha relevado detalladamente el parque automotor del área bajo análisis y se han modelado los factores de emisión de contaminantes teniendo en cuenta los diferentes modos de transporte automotor, el tipo de combustible utilizado y el consumo específico, el tipo de tecnología, la velocidad de circulación y los efectos de envejecimiento de las unidades. El análisis consideró el período comprendido entre los años 2000 y 2012 y abarcó al primer cordón del Gran Buenos Aires y la Capital Federal. Las principales medidas consideradas incluyeron una mayor penetración del gas natural comprimido, mejoras tecnológicas para reducir los consumos específicos, promoción del uso del transporte público en desaliento del uso de vehículos particulares, construcción de nuevas vías rápidas de circulación, ordenamiento del tránsito, extensión de los servicios ferroviarios, incentivos económicos, etc. Los resultados muestran una contribución sumamente relevante a la reducción de la contaminación local y la emisión de gases de efecto invernadero como consecuencia de las medidas propuestas. La siguiente etapa del estudio consistió en la estimación de la difusión de contaminantes locales y la determinación de los niveles de inmisión de los mismos en el área bajo análisis. Se desarrolló un modelo de dispersión de contaminantes a partir del cual se obtuvieron las concentraciones en forma georreferenciada, para lo cual se tuvieron en cuenta datos geográficos, meteorológicos, factores de emisión del parque automotor y una modelación del tránsito para determinar el flujo y la frecuencia vehicular.

Este trabajo forma parte de un proyecto de colaboración institucional entre la Unidad de Cambio Climático de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos y el Departamento de Física de la Universidad Nacional del Sur, destinado a estudiar los co-beneficios de la adopción de medidas de mitigación del cambio climático, expresados en términos de los daños sociales evitados en salud por reducción de la contaminación urbana.

¹ Trabajo presentado en el “Primer Encuentro: Adaptación de la Ciudad de Buenos Aires y Área Metropolitana al Cambio Climático” organizado por la Defensoría del Pueblo Adjunta de la Ciudad de Buenos Aires (17/11/01) y en el “Foro de Transporte del Plan Estratégico Buenos Aires 2010” del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (octubre de 2001).

Introducción

El cambio climático es uno de los fenómenos globales que ha concentrado la atención de la comunidad científica internacional y de las sociedades de todo el mundo, debido a la trascendencia del problema y a las consecuencias del mismo, tanto a nivel físico como socioeconómico. Es ampliamente reconocido que el sistema climático ha venido sufriendo alteraciones significativas desde la era industrial, que pueden transformarse en desequilibrios irreversibles, provocando entre algunas de sus consecuencias directas e indirectas el aumento de la temperatura media del planeta, la suba del nivel del mar, el derretimiento de los casquetes polares, los suelos de congelación permanente y los glaciares de montaña, el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos, la propagación de enfermedades transmitidas por vectores debido al corrimiento de las zonas climáticas, la reconsideración de las transacciones comerciales como consecuencia de las medidas de adaptación y respuesta, etc..

El calentamiento global de origen antropogénico está principalmente originado en la quema de combustibles fósiles, además de la deforestación indiscriminada de bosques y otras actividades humanas que alteran el clima del planeta, liberando a la atmósfera un alto contenido de gases de efecto invernadero. Las emisiones de esos gases son producidas por la gran mayoría de los procesos productivos –generación y distribución de energía, medios de transporte, procesos industriales, actividades agrícolas y ganaderas, tratamiento de residuos, etc.– lo cual nos muestra la escala de los actores involucrados en la problemática.

Las medidas de mitigación que deberían adoptarse para lograr la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a niveles que impidan interferencias peligrosas en el sistema climático y no comprometan a las futuras generaciones, tienen una incidencia trascendental en las economías de todos los países del mundo. Las distintas naciones, concientes de la gravedad del problema, han reconocido la necesidad de tomar acciones en forma conjunta y en el marco de un programa que reconozca a la vez la responsabilidad histórica de los países industrializados y las necesidades de crecimiento de los países en desarrollo.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es un tratado de características globales, acordado en 1994, que se basa en los pilares de las responsabilidades comunes pero diferenciadas, la promoción del desarrollo sostenible y el principio precautorio. En la misma se reconoce la necesidad de tomar medidas de mitigación para morigerar las emisiones de gases de efecto invernadero, supeditando el accionar por parte de los países en desarrollo al cumplimiento de un compromiso mayor de los países desarrollados. Argentina ha firmado y ratificado la Convención, por lo que se ha comprometido, entre otras cosas, a presentar comunicaciones periódicas conteniendo inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuentes y absorción por sumideros de gases de efecto invernadero, la promoción de políticas que favorezcan la reducción de emisiones en los procesos productivos, etc..

Debido, en parte, a la falta de adopción de medidas concretas para la reducción de emisiones que debería ser alcanzada para lograr el objetivo último de la Convención, se adoptó, en 1997 en Kioto, el llamado Protocolo de Kioto, que contiene, entre otras cosas, compromisos cuantificados de limitación de emisiones de gases de efecto invernadero para los países industrializados. Argentina ha también firmado y ratificado el Protocolo. La ratificación del Protocolo de Kioto por parte de la mayoría de los países del mundo y su

consecuente entrada en vigencia se encuentran en proceso de negociación. Sin embargo, la necesidad de implementación de políticas y medidas, que sirvan para remediar el problema del calentamiento global, es algo que no puede seguir demorándose. Por ello gran parte de los países ha comenzado a tomar medidas, que en muchos de los casos no sólo persiguen un objetivo global sino que están relacionadas con cuestiones de mercado y características locales.

En el país se han realizado estudios de mitigación debido a los compromisos asumidos ante la Convención Marco de Cambio Climático, pero sólo algunas de las opciones consideradas tienen incidencia directa en la contaminación del aire urbano, las que no han sido desagregadas a escala local, ya que el interés estaba centrado en los gases de efecto invernadero. Resulta obvio que muchas de las medidas que sirven para mitigar el cambio climático paralelamente ayudan a reducir la cantidad de contaminantes locales emitidos al aire que respiramos. Por ejemplo, el transporte automotor no sólo genera emisiones de dióxido de carbono, como consecuencia de la quema de combustibles derivados del petróleo y el gas natural, sino que también produce emisiones de sustancias dañinas y, en muchos casos, tóxicas para la salud. Las mejoras tecnológicas de los motores de combustión interna, la sustitución de combustibles, el ordenamiento racional del tránsito, etc., son sólo algunas de las opciones que contribuyen a disminuir simultáneamente las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes locales en el sector transporte.

En general, las políticas destinadas a limitar las emisiones de gases de efecto invernadero se han visto motivadas por su potencial para disminuir la tasa de crecimiento de la concentración de esos gases en la atmósfera a largo plazo y han sido analizadas en términos de sus costos versus las oportunidades económicas para los sectores productivos. Sin embargo, los beneficios de corto plazo, en cuanto a la disminución de la polución del aire urbano, pueden resultar en contribuciones tangibles para el bienestar de la población de las grandes ciudades, en contraste con los beneficios derivados de la reducción de los riesgos del cambio climático que acontecen a un nivel global. Un análisis preciso de los beneficios adicionales a aquellos relacionados con el cambio climático, o co-beneficios, permite reconsiderar y evaluar correctamente los costos netos de mitigación.

Los formalismos estándares calculan los co-beneficios en función de valores agregados unitarios, como son las estimaciones de los beneficios expresadas en dólares por tonelada de contaminante reducido. Estas estimaciones no incorporan información acerca de las condiciones demográficas y geográficas al valorar los beneficios. En contraposición con los enfoques usuales, el enfoque en función de los daños evitados estima los costos sociales sobre una base individual, considerando variables contingentes en el proceso de evaluación. De esta forma, los impactos ambientales y el valor monetario de los mismos, resultantes de cambios en las actividades económicas, dependen de la ubicación geográfica y de la población expuesta a los efectos adversos causados por tales actividades.

Dentro de ese contexto se inscribe nuestro proyecto, ya que los potenciales beneficios que las medidas de mitigación de gases de efecto invernadero pueden tener a nivel local en regiones densamente pobladas –implicando específicamente la reducción de las emisiones de contaminantes locales (tales como el monóxido de carbono, el material particulado, los óxidos de azufre, los precursores de la formación de ozono troposférico, como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos)– conllevan a la disminución de costos sociales por daños evitados en la salud y por disminución del deterioro de materiales. Los co-beneficios

representan, sin dudas, un aporte sustancial para favorecer la implementación de medidas y pueden resultar de suma utilidad para la toma de decisiones por parte de los gobiernos.

Desarrollo

El transporte automotor representa el mayor emisor de contaminantes en el Área Metropolitana de Buenos Aires² (AMBA), superando ampliamente a las emisiones provenientes de las fuentes fijas de la región. Está caracterizado de acuerdo a la categoría (pasajeros y carga), al ambiente en el cual circula (urbano e interurbano), al modo (utilitarios livianos, servicio público de pasajeros de corta y larga distancia y transporte de carga pesado) y al tipo de combustible utilizado: nafta, gasoil y gas natural comprimido (GNC). La Tabla 1 muestra estas características, incluyendo el porcentaje de vehículos que circulan en el Área Metropolitana de Buenos Aires en el año 2000.

Tabla 1: Participación vehicular, proporcional al parque total, según modo y combustible, en el AMBA al año 2000

Modo	Combustible		
	Nafta	Gasoil	GNC
Utilitarios livianos	68.1	15.0	12.0
Colectivos		0.6	
Omnibuses		0.2	
Camiones pesados	0.6	3.5	

Dentro de los utilitarios livianos se incluyen los autos particulares, los taxis, remises y camionetas. La información fue obtenida de muy variadas fuentes como son el Registro Nacional de la Propiedad Automotor (RNPA), la Dirección General de Rentas y la de Estadísticas y Censos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA) y de la Provincia de Buenos Aires (PBA), la Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFSA), las Municipalidades, Prensa Vehicular y también datos obtenidos de la Verificación Técnica Vehicular. Los colectivos incluyen al servicio público urbano y suburbano, los servicios de oferta libre que contienen minibuses, servicios diferenciales, especiales, ejecutivos y charters y también a servicios no regulados. La información fue aportada por la Secretaría de Transporte de la Nación, la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), ADEFSA, GCBA, PBA, compañías de colectivos y estudios en el tema. En el caso del parque de omnibuses se incluyeron los servicios interurbanos de larga distancia, de turismo, ejecutivos y minibuses, con datos relevados de las terminales de omnibus de Retiro, Avellaneda, Puente La Noria y Liniers y con datos de ADEFSA, CNRT, etc. Los camiones se dividieron según su porte en menores de dos toneladas, entre dos y cuatro toneladas y de más de cuatro toneladas. Los datos se obtuvieron de CNRT, ADEFSA, GCBA, PBA y estudios particulares.

En el año 2000 en el AMBA el combustible más utilizado fue el gasoil, con alrededor del 55% del consumo total de combustibles, mientras que las naftas ocuparon el segundo lugar, con un 36%, y luego el GNC con un 9%. Las naftas son principalmente usadas en

² El AMBA incluye a la Ciudad de Buenos Aires y a los siguientes 24 municipios: Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Esteban Echeverría, Ezeiza, Florencio Varela, General San Martín, Hurlingham, Ituzaingó, José C. Paz, La Matanza, Lanús, Lomas de Zamora, Malvinas Argentinas, Merlo, Moreno, Morón, Quilmes, San Fernando, San Isidro, San Miguel, Tigre, Tres de Febrero y Vicente López.

los autos particulares, el gasoil en el transporte público y de carga y el GNC en los utilitarios livianos, siendo los taxis el modo que mayor penetración del GNC ha tenido.

La metodología utilizada para cuantificar las emisiones –más específicamente los factores de emisión que servirán de entrada a los modelos de dispersión de contaminantes– tuvo en cuenta varias circunstancias y etapas.

En primer lugar –teniendo en cuenta que la efectividad de las medidas de abatimiento de contaminantes locales se manifiesta a corto y mediano plazo, mientras que para los gases de efecto invernadero se manifiesta a largo plazo– se seleccionó un período para definir el horizonte temporal de nuestro análisis, compatible con la estimación de costos y beneficios y del impacto de las medidas de mitigación propuestas. El período propuesto abarcó desde el año 2000 (año base) hasta el año 2012. El año base se seleccionó teniendo en cuenta la fecha más actualizada que permitiera adquirir la mayor cantidad de datos publicados y obtenidos por distintas entidades. Su determinación es clave para basar todo el análisis prospectivo consiguiente y establecer escenarios futuros para cuantificar la reducción de emisiones. El 2012 permite estimar la contribución de las medidas de mitigación propuestas a lo largo de algo más que una década y corresponde, además, al final del primer período de cumplimiento de los compromisos contraídos por los países desarrollados bajo el Protocolo de Kioto.

Las emisiones fueron obtenidas en forma analítica a partir de datos indirectos, tales como la cantidad de vehículos por modo, tipo de combustible, tecnología y modelo, el kilometraje anual medio, los factores de emisión en gramos por kilómetro recorrido, incorporando las diversas correcciones introducidas para adaptar los factores de emisión al modo, combustible, tecnología y modelo correspondiente. Sea j el modo de transporte considerado, entonces las emisiones totales para cada tipo de contaminante, E_T , se calcularon –en forma simplificada, el cálculo es más complejo debido a la gran discriminación del parque bajo estudio– como

$$E_T = \sum_{j=1}^4 E^{(j)} = \sum_{j=1}^4 N^{(j)} \langle f^{(j)} \rangle k^{(j)} \quad (1)$$

donde $E^{(j)}$ representa las emisiones correspondientes al modo j , $N^{(j)}$ y $k^{(j)}$ el número de vehículos y el kilometraje anual medio en ese modo, respectivamente, y $f^{(j)}$ el factor de emisión promedio para el modo j , incluyendo la tecnología, el combustible usado y el modelo del vehículo. La suma se extiende hasta los cuatro modos de transporte automotor considerados en la Tabla 1.

Dado que no se efectuaron mediciones directas de las emisiones vehiculares en las calles, sino que se estimaron las emisiones a partir de la ecuación (1), se realizó luego un relevamiento exhaustivo del parque circulante en el año 2000 (considerado como año base), para lo cual fue necesario recurrir a numerosas fuentes y compatibilizar la información obtenida, que por lo general mostraba grandes discrepancias. Se procesaron datos del Registro Nacional de la Propiedad Automotor, de la Dirección General de Rentas y de la Dirección General de Estadísticas y Censos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), de la Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFSA), del Órgano de Control de la Red de Accesos a la Ciudad de Buenos Aires (OCRABA), de trabajos de profesionales independientes y consultas realizadas a las compañías de transporte público y terminales automotrices. Fue

necesario en este análisis compatibilizar los datos procesados con los datos y modelos de circulación y tránsito en el AMBA, dado que los vehículos habilitados en una zona no necesariamente circulan en ella. Fue necesario, además, hacer un análisis exhaustivo de cruce de datos, dado que existe una gran dispersión entre las distintas fuentes consultadas, ya que no utilizan la misma metodología de contabilización del parque y dado que los vehículos registrados no están en correspondencia con los vehículos circulantes.

A partir de los datos del parque automotor en el año base se procedió a estimar la proyección de la cantidad de vehículos para el resto del período, hasta el año 2012. Ello requiere la consideración de estudios prospectivos que tengan en cuenta las principales variables macroeconómicas, el crecimiento poblacional y de la demanda de transporte y las tendencias esperadas tanto del avance tecnológico como de las condiciones de mercado. Las proyecciones estuvieron basadas en los trabajos coordinados por la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental para la formulación del inventario de gases de efecto invernadero, la revisión de la primera Comunicación Nacional a la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el análisis de opciones de mitigación para la República Argentina (Proyecto PNUD/ARG/99/003, 1999). En nuestro análisis modificamos los valores iniciales de las proyecciones de los estudios previos, ya que en esos trabajos no se tuvo en cuenta el fuerte período recesivo que atraviesa el país. Las diferentes características socioeconómicas de las distintas zonas del AMBA fueron consideradas, subdividiéndolas en Capital Federal y zonas sur, oeste y norte del primer cordón del Gran Buenos Aires.

La siguiente etapa consideró los distintos escenarios. El escenario base incluyó la continuidad de las tendencias sin medidas de mitigación, excepto aquéllas que formaran parte de programas en o en vías de ejecución, manteniendo la mayor penetración del gasoil y el GNC e incorporando los avances tecnológicos a introducirse en el país por razones de mercado. En el escenario de mitigación, que integra opciones para mitigar el cambio climático y opciones para mitigar la contaminación local, se tuvo en cuenta una mayor penetración del GNC, en particular en el transporte público, mejoras en los consumos específicos de los vehículos, incentivos económicos, cambios en los precios de los combustibles, desaliento al uso del auto particular en favor del transporte público, extensión de la red de subtes y mejoras de la ferroviaria, ampliación de avenidas y mejora en el sistema de semáforos, organización del tránsito, planeamiento urbano con mejor distribución de las zonas de servicios, construcción de nuevos caminos, regulaciones sobre la circulación en áreas altamente congestionadas y densamente pobladas, etc. Todas estas alternativas fueron mensuradas en forma independiente, considerando además los efectos de retroalimentación debidos, por ejemplo, al rebote de los precios o a los mayores recorridos inducidos por la construcción de rutas de acceso rápido a los centros comerciales.

Entre las herramientas de cuantificación se contó con modelos de dispersión de contaminantes, a partir de los cuales se obtuvieron las concentraciones de contaminantes locales en forma georreferenciada. Ya que la principal fuente de contaminación atmosférica en el área de estudio es el transporte automotor, resultó fundamental contar con información fehaciente acerca de las emisiones vehiculares de contaminantes gaseosos, con el objeto de alimentar adecuadamente los modelos de dispersión.

Actualmente, las tasas de emisión de gases y material particulado están basadas en estimaciones obtenidas por comparación con casos similares en otros países (p.ej., Tarela, 1998; Gaioli *et al.*, 1998; Cifuentes *et al.*, 1999; Bravo, 1999).

Uno de los objetivos del trabajo fue determinar los factores de emisión de contaminantes atmosféricos para el parque automotor local y su variación frente a una serie de parámetros de interés, de modo que estos valores puedan ser utilizados como datos de entrada para modelos de dispersión de contaminantes. En este sentido, el énfasis estuvo puesto en la caracterización de los factores de emisión para distintos tipos de vehículos (livianos, de transporte de pasajeros y de carga pesada), incluyendo varios efectos correctivos.

El cálculo específico de los factores de emisión estuvo basado en las mediciones realizadas en el Laboratorio de Control de Emisiones Gaseosas Vehiculares del Instituto Nacional del Agua y el Ambiente (LCEGV-INA) para utilitarios livianos de ciclo Otto y en datos extraídos de la abundante literatura internacional en la materia. Los factores de emisión fueron corregidos por el consumo específico y el tipo de combustible utilizado, el envejecimiento de las unidades y los diferentes modos de circulación. A partir de un modelo de evolución de la composición del parque vehicular se obtuvo la antigüedad de las unidades, lo que permitió establecer factores de emisión locales variables en el tiempo adaptados a cada año dentro del período analizado. Para dar cuenta del envejecimiento se tuvo en cuenta el kilometraje recorrido por los vehículos en todo el territorio nacional, y no sólo en el AMBA (los que son usados para calcular las emisiones totales en la región).

Los contaminantes considerados fueron: material particulado (PM), hidrocarburos totales (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO).

Muchos de esos contaminantes sirven para la formación de contaminantes secundarios, como el ozono troposférico, O₃, a partir de reacciones fotoquímicas de oxidantes que actúan como sus precursores primarios, en cuyo caso, muchos de los contaminantes primarios no son por sí solos perjudiciales para la salud.

Los contaminantes locales considerados son responsables de varios daños a la salud, entre los cuales se pueden mencionar muertes prematuras asociadas a PM y CO, efectos crónicos sobre la población con problemas asmáticos, pulmonares y cardíacos, irritación de las mucosas debida a la exposición a altos niveles de O₃.

El gas de efecto invernadero considerado fue el dióxido de carbono (CO₂), que es el responsable de aproximadamente el 60% del calentamiento global de origen antropogénico a nivel mundial. El dióxido de carbono no tiene influencia directa sobre la salud humana (excepto en dosis extremadamente altas, en donde se registraron afecciones psicológicas), pero sí ocasiona daños indirectos como los vinculados a la transmisión de enfermedades por vectores (malaria, dengue) y por el agua (cólera), olas de calor y de frío y pérdidas de vidas y materiales como consecuencia de fenómenos climáticos extremos (huracanes, ciclones, temporales, inundaciones, sequías).

Resultados

a) Medición de factores de emisión

Las mediciones de los factores de emisión (FE) vehiculares fueron llevadas a cabo por el LCEGV-INA. Su construcción y puesta en marcha se realizaron durante el año 1998, estando a principios de 1999 en condiciones de controlar la producción nacional e importada bajo el ciclo de manejo USIM240, aceptado por la (ex)SRNDS como alternativo al USFTP (Resolución 61/99) para certificar los controles de la producción.

De este modo, en este trabajo se contó con los primeros registros estadísticos provenientes de mediciones directas en ciclo dinámico de emisión de gases contaminantes que han sido efectuados en la Argentina.

A partir de los mismos se determinaron las tasas de emisión de CO₂, CO, NO_x y HC, para vehículos livianos (pasajeros y carga) alimentados a nafta y/o GNC. Se tuvieron en cuenta vehículos nuevos (con tecnología de inyección y catalizador) y vehículos usados (con tecnología de carburador).

Se compararon los resultados obtenidos con diversos datos presentes en la literatura: p.ej., US-EPA (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 2000), Weaver and Balam (1998), Faiz *et al.* (1996), IPCC (1995), GTZ (1999). Con este análisis se determinó que los rangos de resultados del INA cubren, aproximadamente, las bandas medias de variación de los datos de las muestras, y los valores obtenidos como factores de emisión no resultan extremos de las muestras en ningún caso. A excepción del CO, los valores medidos por el INA caen por debajo de las medias muestrales.

Los valores medidos de los factores de emisión fueron corregidos por la antigüedad de cada unidad medida, para llevarlos a un valor nominal de unidad 0 km. Para ello fue necesario caracterizar al parque automotor circulante según el modelo de vehículo y tipo de tecnología utilizada (carburador, inyección y catalizador, etc.) y el modo de uso de cada unidad. Se generó una base de datos de composición del parque y de factores de emisión.

b) Modelo de evolución del parque automotor

Como es sabido, entre las diversas causas que definen las tasas de emisión de gases contaminantes se encuentran algunas relacionadas con las características del parque automotor circulante:

- Tipo de vehículo
- Tipo de combustible
- Tipo de tecnología
- Antigüedad de las unidades

A los efectos de caracterizar las emisiones medias de la flota automotor circulante en el área de estudio, resultó necesario conocer la composición de la misma en función de estas variables. Para ello se desarrolló y aplicó un novedoso modelo matemático que determina la evolución del número de unidades del parque automotor en el Área Metropolitana de Buenos Aires (Tarela, 2001; Gaioli, 2001).

Con este modelo matemático se puede determinar la cantidad de unidades de un cierto modelo en un año en particular. Los datos de entrada son las incorporaciones anuales de unidades 0 km, la evolución temporal de la cantidad de vehículos que componen la flota circulante y las tasas de decaimiento de unidades, que resultan función del modelo y tipo de vehículo. El modelo contempla una desagregación de datos por zonas, por ejemplo para tener en cuenta las diferentes regulaciones entre la Capital Federal y la Provincia de Buenos Aires, referidas a la antigüedad máxima permitida para las unidades del transporte público de pasajeros, y las distintas características socioeconómicas que se reflejan en la composición del parque automotor.

El modelo contabiliza tanto el parque existente al año base (2000) como el parque a futuro. Se trabajó en el período 1980-2012, es decir, se cubrieron más de 30 años, determinándose para cada uno la composición de la flota de acuerdo a los parámetros antes mencionados, pero dividiendo el análisis en dos ciclos:

- Histórico: entre los años 1980 y 2000 (común a todos los escenarios estudiados)
- Proyectado: entre los años 2001 y 2012 (variable según el escenario estudiado)

Entre otras fuentes se utilizaron como datos de entrada los publicados por la Dirección Nacional de Registro de la Propiedad Automotor (DNRPA) y la Dirección General de Estadística y Censos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA). También como datos de ingreso al modelo, para el período histórico se utilizó una metodología similar a la propuesta por ADEFA, y para el período proyectado se utilizaron las estimaciones de Gaioli (2001) en función del escenario bajo estudio.

A modo de ejemplo de salida del modelo, en las figuras 1 y 2 se muestra la evolución del parque de utilitarios livianos para la Capital Federal y el Gran Buenos Aires, respectivamente.

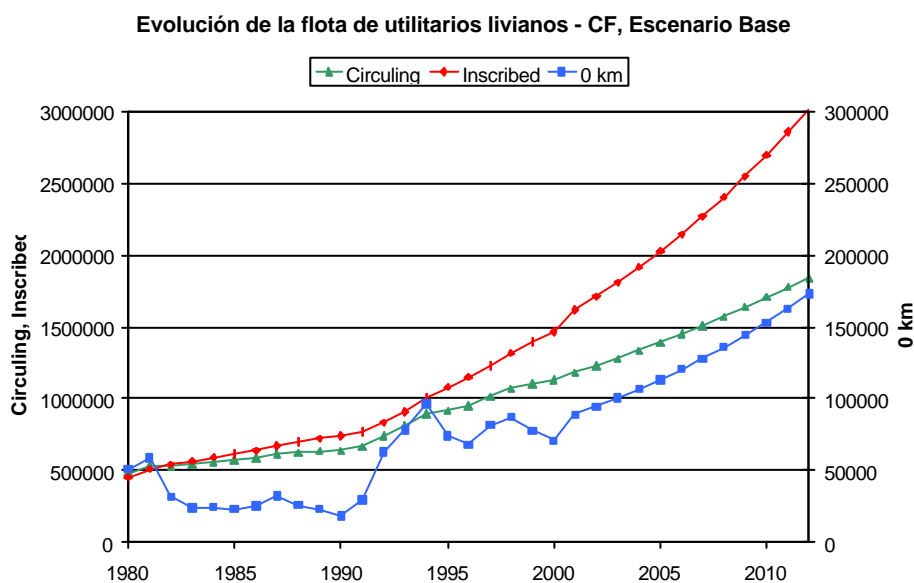


Figura 1: Evolución del parque en la Capital. Utilitarios livianos, Escenario Base.

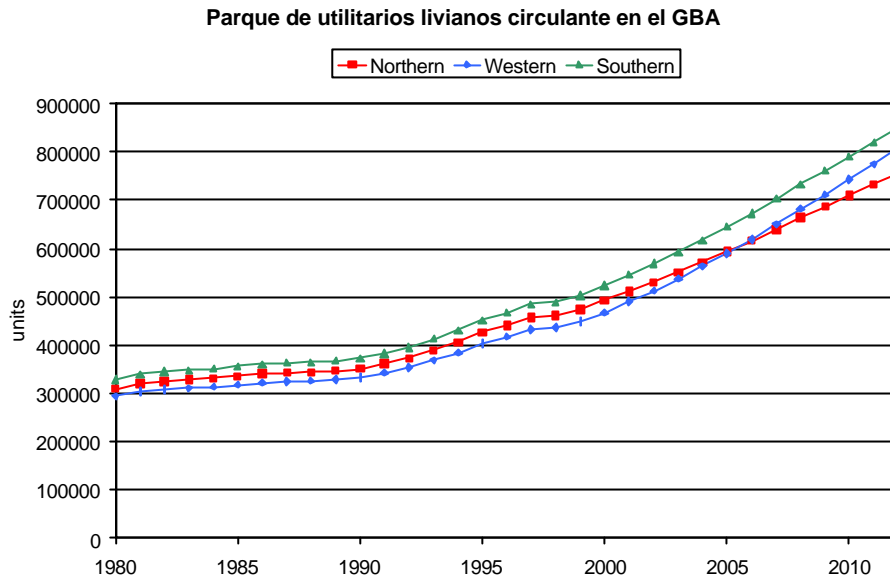


Figura 2: Evolución del parque en GBA por zonas. Utilitarios livianos, Escenario Base.

c) Modelo de emisiones vehiculares

Los valores medidos en el INA representan promedios de laboratorio, bajo el ensayo dinámico IM240 y condiciones controladas, según lo detallado en su oportunidad. Sin embargo, las emisiones “reales” medias de los vehículos están afectadas por un sinnúmero de factores, entre los cuales se pueden citar:

- Características del combustible (calidad y composición)
- Características tecnológicas del vehículo
- Características de la flota de vehículos
- Condiciones de operación

La determinación de tendencias para los factores de corrección requiere de una importante base de datos histórica. Por ejemplo, la US-EPA cuenta con la serie de modelos *MOBILE* (Highway Vehicle Emission Factor Model) a partir de los cuales se pueden estimar los factores de emisión para una flota de vehículos en uso promedio y para diferentes tipos de categorías de automotores entre los años 1970 y 2020, en función de diversas condiciones de emisión.

En la Argentina, debido a la carencia histórica de mediciones, la base de datos necesaria para plantear modelos de estimación de FE reales no existe. Además, debido a que los vehículos y combustibles no son iguales a los utilizados en EE.UU. o Europa, las extrapolaciones de modelos como el *MOBILE* no son necesariamente válidas. Por ello, aquí se realizó una primera estimación referida a las *posibles modificaciones* en los FE por el uso efectivo de las unidades en circulación, empleándose criterios propios, los datos disponibles y algunas metodologías utilizadas en el exterior.

Para este estudio se consideraron cuatro efectos principales, asociados a:

- Tipo de combustible (nafta, gasoil y GNC)

- Consumo específico (según datos de fabricación y mediciones)
- Envejecimiento (deterioro) de las unidades (en función del kilometraje recorrido)
- Velocidad de circulación (modos lento y rápido)

Tales efectos se integraron en el tiempo y para cada escenario previsto, obteniéndose factores de emisión discriminados por tipo de vehículo y combustible, representativos del parque circulante. Estos valores sirvieron como datos de entrada directos de los modelos de dispersión de gases contaminantes, constituyendo uno de los resultados más relevantes del trabajo.

En total se consideraron cuatro contaminantes (CO, NO_x, HC y PM) y un gas de efecto invernadero (CO₂), cuatro tipos de vehículo (utilitarios livianos, colectivos, microomnibuses y camiones pesados), cuatro zonas urbanas (CF, GBA Norte, GBA Oeste y GBA Sur) y el modelo se aplicó a las flotas estimadas para los años 2000 a 2012.

d) Emisiones globales del transporte automotor

La utilización conjunta de los modelos presentados anteriormente permitió, entre otras cosas, cuantificar en forma integrada las emisiones totales de gases contaminantes producidas por el transporte automotor en el AMBA.

La Tabla 2 muestra esos resultados, por contaminante y año, para los escenarios Base y Mitigación.

Tabla 2: Emisiones globales de contaminantes en el AMBA por escenario

Contaminante	Emisión (miles de Ton)		
	Base		Mitigación
	2000	2012	2012
CO ₂	16510	22272	13976
CO	3087	3894	1169
NO _x	128	184	145
HC	319	384	144
PM	22.0	31.8	15.1

La figura 3 presenta estos resultados para años intermedios. El conjunto de las medidas contempladas en el Escenario Mitigación representa, al año 2012, una reducción del 37% en las emisiones de CO₂, 70% en las de CO, 21% en las de NO_x, 62% en las de HC y 52% en las de PM.

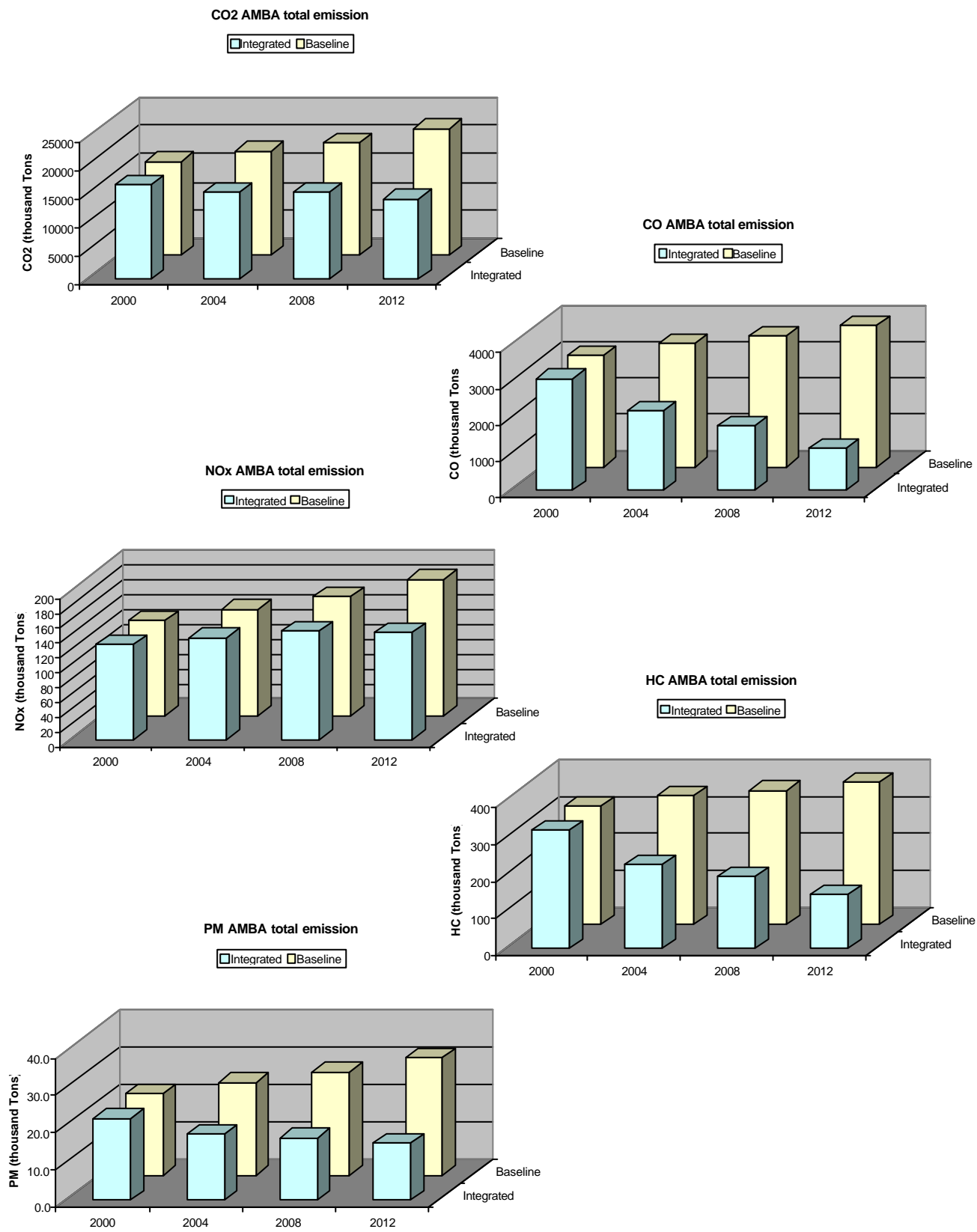


Figura 3: Emisiones globales de contaminantes atmosféricos en el AMBA para los escenarios Base y Mitigación.

e) Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos

Con el objeto de cuantificar los niveles de contaminación de aire en el AMBA para los distintos escenarios futuros, se aplicó el modelo matemático *SofIA* (**S**oftware de **I**mpacto **A**tmosférico) de dispersión de contaminantes (Tarela y Perone, 2001).

El modelo *SofIA* permite determinar la concentración de cualquier contaminante en forma georreferenciada y al nivel de interés (altura de respiración en este caso). El modelo es tridimensional y simula tanto fuentes móviles como estacionarias. En este trabajo las fuentes móviles estuvieron definidas por la red de tránsito, constituida por las autopistas, avenidas y calles. Las fuentes fijas de mayor relevancia en el AMBA son las chimeneas de las centrales térmicas de la zona. Adicionalmente, se consideraron fuentes de área y fuentes difusas (emisiones domiciliarias y comerciales) y los niveles de background habituales en esa zona.

Las emisiones contaminantes locales de las centrales termoeléctricas fueron tenidas en cuenta para estimar la concentración de contaminantes en forma integrada con aquéllas provenientes del transporte y del background residencial, comercial e industrial. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el año 2000.

Tabla 3: Emisiones de las centrales termoeléctricas en el AMBA al año 2000

Central	Generación MWh	EMISIONES (toneladas)		
		CO ₂	NO _x	PM
Buenos Aires (CC)	1542875,0	632006,0	857,0	0,5
Nuevo Puerto (3TV)	1337937,0	917319,8	1218,6	60,1
Puerto Nuevo (3TV)	2127378,0	1993417,2	2766,6	202,1
Central Puerto (CC)	2771529,0	1122535,3	1525,1	5,5
Costanera (6TV)	1589239,0	993349,5	1308,8	58,6
Costanera (CC)	4994275,0	1905465,6	2585,3	3,9
Dock Sud (2TG)	25224,0	17863,7	24,3	0,2
Dock Sud (CC)	234702,0	128926,7	177,1	3,5
Total	14623159,0	7710883,9	10462,8	334,4

CC: ciclo combinado, TV: turbovapor, TG: turbogas

Se aplicó el modelo de dispersión de modo de obtener promedios anuales de concentración, utilizándose información meteorológica de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional de la zona (Aeroparque y Ezeiza en este caso).

La determinación del flujo vehicular se obtuvo a partir del desarrollo de un modelo de tránsito, con el cual se estimó la densidad de vehículos circulantes en las principales calles, avenidas y autopistas de la región.

Los factores de emisión se determinaron de acuerdo a lo señalado anteriormente. El modelo se aplicó a un área de 67 km en la dirección W-E por 56 km en la dirección N-S, es decir, sobre un área total de unos 3750 km².

A modo de ejemplo, la figura 4 presenta una salida del modelo *SofIA*, correspondiente al promedio anual de NO_x en el AMBA, donde se pueden apreciar las zonas más afectadas.

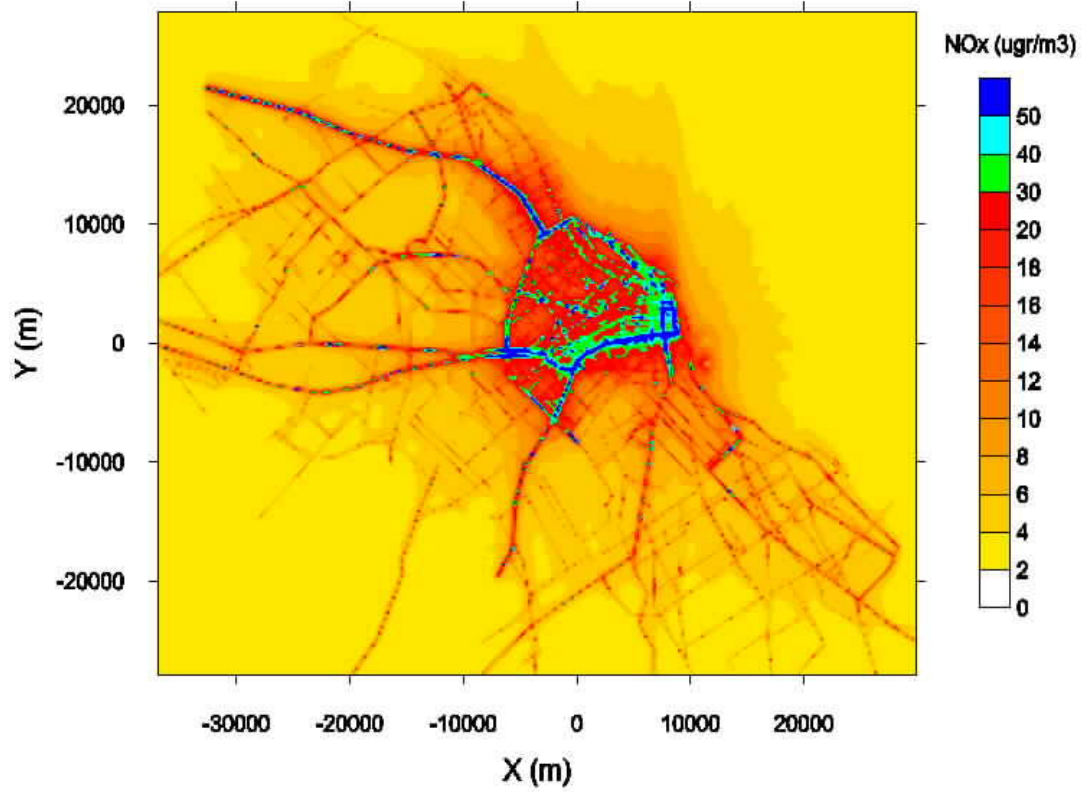


Figura 4: Mapa georreferenciado de concentración de NO_x en el AMBA (promedio anual 2000).

Conclusiones

El trabajo permitió cuantificar las emisiones de dióxido de carbono y contaminantes locales en el Área Metropolitana de Buenos Aires con un alto grado de desagregación, tanto sea en la caracterización del parque automotor como de las características geográficas y demográficas de la zona. Los factores de emisión, que sirven para alimentar los modelos de dispersión de contaminantes, fueron obtenidos como función del tiempo para el parque automotor local, a partir de una metodología propia que puede ser aplicada en otros centros urbanos de interés.

El aporte metodológico del trabajo permite, además, calcular las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales por medio de una aproximación del tipo “bottom-up”, que podría ser aplicada en la revisión de inventarios de emisiones.

En el caso de la dispersión de contaminantes se desarrolló, también, un modelo original, el cual incorporó modelaciones previas de las características del tránsito en el AMBA.

En cuanto a los resultados, las medidas y opciones propuestas han mostrado un alto grado de reducción de emisiones contaminantes que, por lo tanto, redundarán en importantes co-beneficios.

Las incertidumbres de las estimaciones realizadas no son despreciables, debidas principalmente a la falta de datos precisos para alimentar los distintos modelos. Algunas variables son altamente sensibles y su determinación precisa permitirá obtener resultados con un alto grado de confiabilidad. Asimismo, los modelos desarrollados deberían ser validados con datos de campo, a través de campañas de medición que abarquen las distintas áreas de circulación que cubre el AMBA.

Bibliografía

ADEFA (1999), *Anuario Estadístico 1999*, Asociación de Fábricas de Automotores.

Alperovich, A. and Riera, L. (2000), *El transporte de cargas por automotor*, Centro de Estudios del Transporte, FADU-UBA.

BEN (1999). "Balance Energético Nacional".

Bravo, V. (1999), *Opciones Técnicas de Uso Eficiente de Energía en el Sector Transporte de Cargas y Pasajeros*, Proyecto PNUD/ARG/99/003, Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la República Argentina and Revision of the First National Communication, Argentine Republic.

Burtraw, D., Toman, M.A. (1997), *The Benefits of Reduced Air Pollutants in the U.S. from Greenhouse Gas Mitigation Policies*, Resources for the Future, Climate Economics and Policy Program Report.

CAI (1998). Expo Ingeniería '98, Congreso de Políticas de la Ingeniería, *El aprovechamiento de recursos energéticos abundantes: el GNC y el desarrollo de la fabricación de la motorización a gas en el transporte*, por V. Orsi, *La importancia del desarrollo de una industria de capital con tecnologías propias o adaptadas*, por I. Mahler, Centro Argentino de Ingenieros.

Cifuentes, L.A., Sauma, E., Jorquera, H., Soto, F. (1999), *Co-controls Benefits Analysis for Chile, Preliminary estimation of the potential co-control benefits for Chile*, COP 5 Progress Report.

Coburn, T.M., Bailey, B.K., Kelly, K.J. (1998), *Results from Federal Emissions Tests on Alternative Fuel Vehicles and their Implications for the Environment and Public Health*, National Renewable Energy Laboratory.

Cropper, M. (2000), *Has Economic Research Answered the Needs of Environmental Policy?*, Journal of Environmental Economics and Management, Volume 39, Number 3, p.328-350.

Dessus, S., O'Connor, D. (1999), *Climate Policy without Tears: CGE-Based Ancillary Benefits Estimates for Chile*, OECD Development Centre, Technical Paper No. 156.

Economopoulos, A.P. (1993), *Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution, Part One: Rapid Inventory Techniques in Environmental Pollution*, World Health Organization, Geneva.

Energy International, Inc. (1996). *The use of natural gas for transit buses and heavy duty vehicles in Argentina*, Report N° 9474R530, Bellevue, Washington.

Extern-E (1995), *Externalities of Energie*, Vol. 1: Summary; Vol. 2: Methodology.

Faiz, A., Weaver, C.S., Walsh, M.P. (1996), *Air pollution from motor vehicles*, Standards and technologies for controlling emissions, World Bank.

Fundación Ciudad (1999), *Aire y ruido en Buenos Aires*, Programa Foros Participativos para una Ciudad Sustentable.

GCBA (2000), Registro de datos publicado por la Dirección General de Estadística y Censos del Gobierno de la ciudad de Buenos Aires, sobre la base de datos de la Dirección General de Rentas.

Gaioli, F.H. (2001), *Co-controls Benefits Analysis Project for Argentina*, Chap. 1, UNS – SDSyPA, International Co-control Analysis Program, EPA-NREL, Junio 2001.

Gaioli, F.H. *et al.* (2001), Integrated Environmental Strategies Project, EPA-NREL, USA (in progress).

Gaioli, F.H., Conte Grand, M., Barrera, D.F. (1999), *Análisis de la conversión a GNC del autotransporte público de pasajeros y de carga en el Área Metropolitana de Buenos Aires*, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.

GTZ (1999), *Políticas de Transporte y Medio Ambiente en Argentina*, Secretaría de Transporte y Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, Proyecto Transporte Urbano de Buenos Aires, Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ).

IANGV (1994), *Task Force Report Milan*, International Gas Union and International Association of GNV.

IPCC (1995), *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Vol. 3, Energy, Mobile Sources.

Joh, S. (2000), *Studies on Health Benefits Estimation of Air Pollution in Korea*, Expert Workshop on Assessing the Ancillary Benefits and Costs of GHG Strategies, Washington, D.C.

Maddison, D., Lvovsky, K., Hughes, G., Pearce, D. (1997), *Air Pollution and the Social Costs of Fuels: A Methodology with Application to Eight Cities*, World Bank Environment Department.

Margolick, M. (1998), *Greenhouse gas emission reduction opportunities in the Argentine transportation sector*, Global Change Strategies International, Argentine National Strategy Study, World Bank.

McCubbin, D. *et al.* (1999), *Co-control Benefits of GHG Control Policies*, Abt Associates, Inc.

Muller, A. (2000), *Transporte automotor colectivo de pasajeros*, Centro de Estudios del Transporte, FADU-UBA.

NGF (1998). *Diesel Fuel Feels the Heat*, Natural Gas Fuels, p. 6, Noviembre.

OECD (2001), *Ancillary Benefits and Costs of GHG Mitigation*, Proceedings of an IPCC Co-Sponsored Workshop, 27-29 March 2000, Washington, D.C.

Onursal, B., Gautam, S.P. (1997), *Vehicular Air Pollution, Experiences from seven Latin American urban centers*, World Bank Technical Paper No. 373.

Orsi, V. (1998), *El aprovechamiento de un recurso energético abundante: el GNC y el desarrollo de la motorización a gas en el transporte*, Secretaría de Transporte.

Prensa Vehicular (2000), *Estadísticas históricas 1984-2000*, Archivo del Periódico, Buenos Aires.

Proyecto PNUD/ARG/99/003 (1999), *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la República Argentina y Revision of the First National Communication, Argentine Republic*, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.

RNPA (2000), Registro Nacional de la Propiedad Automotor, Secretaría de Justicia.

Seroa da Motta, R., Mendes, A.P. (1996), *Health Costs Associated with Air Pollution in Brazil*, chapter 5 in P. May and R. Seroa da Motta (orgs.) *Price the Earth*, New York, Columbia Press.

SRP/Panel (1998). *The Report on Diesel Exhaust*, Scientific Review Panel, 22 de Abril.

Tarela, P.A. (1998), *Estudio del Impacto en la Calidad de Aire Debido a los Futuros Accesos Terrestres al Puerto de Buenos Aires*, Proyecto de Ampliación del Puerto de Buenos Aires, Informe INA-AGP.

Tarela, P.A. (2001), *Factores de emisión para el parque automotor de Buenos Aires*, May 2001. Parte de los resultados fueron adelantados en el proyecto International Co-control Analysis Program, Co-controls Benefits Analysis Project for Argentina, Dec. 2000.

Tarela, P.A. and Perone, E.A. (2001), *Air Quality Modeling of the Buenos Aires Metropolitan Area*, Integrated Environmental Strategies Project, EPA-NREL, USA (in progress).

US-EPA (1996), *Regulatory Impact Analysis for Proposed Particulate Matter National Ambient Air Quality Standard*, Office of Air Quality Planning and Standards, December.

US-EPA (1996), *Regulatory Impact Analysis for Proposed Ozone National Ambient Air Quality Standard*, Office of Air Quality Planning and Standards, December.

US-EPA (2000), *AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, Office of Transportation and Air Quality.

Vasallo, J., Oficialdeguy, O. y Arselli, C. (1999), *Emisiones gaseosas de automotores: Ley 24.449 (1era y 2da parte)*, Revista AIDIS No. 46 y 47.

Weaver, C.S. y Balam, M. (1998). *Preparation of the air quality component of the Argentina Pollution Management Project*, Vol. 2 and 3, Engine, Fuel, and Emissions Engineering, Inc., Sacramento, California, for SRNyDS.

WGCP (1997). 20th World Gas Conference Proceedings, Copenhagen.

WHO (1999), *Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution*, An impact assessment project of Austria, France and Switzerland, Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications, Bureau of Transport Studies.

World Bank (1994a.), *Thailand: Mitigating Pollution and Congestion Impacts in a High-growth Economy: Country Economic Report*, Country Operations Division, Country Department I. East Asia and Pacific Region, Report No. 11770-TH, February.

World Bank (1994b.), *Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Method with an Application to Jakarta*, World Bank Policy Research Department, Public Economics Division, Policy Research Working Paper No.1301, May.

World Bank (1994c.), *Chile: Managing Environmental Problems: Economic Analysis of Selected Issues*, Environmental and Urban Development Division, Country Department I, Latin America and the Caribbean Region, Report No. 13061-CH, December.

World Bank (1998), *Clean Air Initiative in Latin American Cities*, City Action Plans (<http://www.worldbank.org/wbi/cleanair/>).

WRI (1997), *The Hidden Benefits of Climate Policy: Reducing Fossil Fuel Use Saves Lives Now*, World Resources Institute.